



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 267 465**

⑯ Int. Cl.:

**F04D 29/16** (2006.01)

**F01D 11/08** (2006.01)

**F04D 29/54** (2006.01)

**F01D 11/12** (2006.01)

**F01D 5/20** (2006.01)

⑫

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑯ Número de solicitud europea: **00307007 .5**

⑯ Fecha de presentación : **16.08.2000**

⑯ Número de publicación de la solicitud: **1101947**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **23.05.2001**

④ Título: **Etapa de compresor resistente al rozamiento.**

⑯ Prioridad: **15.11.1999 US 439436**

⑦ Titular/es: **GENERAL ELECTRIC COMPANY**  
**1 River Road**  
**Schenectady, New York 12345, US**

⑯ Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.03.2007**

⑦ Inventor/es: **Mielke, Mark Joseph;**  
**Carroll, Michael David;**  
**Marusko, Mark Willard;**  
**Rhoda, James Edwin y**  
**Bulman, David Edward**

⑯ Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.03.2007**

⑦ Agente: **Carpintero López, Francisco**

ES 2 267 465 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Etapa de compresor resistente al rozamiento.

La presente invención se refiere, en general, a motores de turbina de gas, y, más específicamente, a compresores en los mismos.

En un motor de turbina de gas tipo turboventilador para aeronaves, se comprime el aire en varios ventiladores y etapas de compresión por medio de álabes rotativos que cooperan con las paletas de estator. Se utiliza el aire de los ventiladores para proporcionar empuje de propulsión, y el aire de compresor se mezcla con el combustible y se enciende para generar gases calientes de combustión, de los cuales las etapas de la turbina extraen energía para accionar el compresor y el ventilador.

Un motor turboventilador convencional utilizado durante muchos años incluye un ventilador de baja temperatura que tiene una pluralidad de ranuras de pérdida dispuestas en la superficie interior de la envolvente del ventilador, véase cualquiera de los documentos GB- A- 2092681 o US- A- 4767266. Las ranuras de pérdida mejoran el margen de pérdida del aire cuando se comprime durante el funcionamiento.

La envolvente del ventilador y las ranuras de pérdida están situadas radialmente cercanas a las puntas de álate para minimizar la separación radial u holgura entre los mismos durante el funcionamiento. Sin embargo, durante ciertas condiciones transitorias de funcionamiento del motor, la expansión o contracción diferenciales u otro movimiento radial entre la envolvente del estator y los álabes rotativos pueden producir un roce temporal de las puntas de álate contra la envolvente. El roce de las puntas de álate genera abrasión y calor de fricción y somete las puntas de álate y la envolvente a tensiones localmente altas. El roce repetido o extensivo de la punta puede producir grietas en las puntas de álate que requieren una reparación apropiada o la sustitución de los álabes.

Se puede reducir o eliminar el roce de la punta aumentando la holgura nominal de la punta del álate, pero esto produce una disminución correspondiente de la eficiencia del motor.

Se pueden aplicar recubrimientos abrasivos a las puntas de álate para minimizar la degradación de las mismas producida por el roce con la envolvente del estator. Sin embargo, los mismos recubrimientos abrasivos están sujetos a desgaste y pueden ser dañados prematuramente al rozar con las mesetas dispuestas entre las ranuras de pérdida. Además, el uso de recubrimientos abrasivos de la punta puede afectar adversamente las propiedades del mismo material de la punta, limitando la vida útil de la misma.

Se pueden añadir recubrimientos abrasivos en el interior del estator para minimizar la degradación de la punta del álate durante el rozamiento. En los diseños de ranuras de pérdida, los recubrimientos que son suficientemente blandos para proteger las puntas de álate en general son demasiado blandos para sobrevivir en un ambiente de erosión, y se desgastan dejando grandes holguras de punta que afectan adversamente el rendimiento y el margen de pérdida del motor.

Típicamente se montan los álabes del ventilador o del compresor en el perímetro de un disco rotativo, utilizando colas de milano convencionales que permiten la sustitución de los álabes individuales, como se deseé. Sin embargo, en un blisk (disco aplanado) unitario o de una pieza, los álabes se extienden directa-

mente desde su disco de soporte y no son sustituibles individualmente, excepto cortándolos del disco.

En vista de estas distintas consideraciones, las ranuras de pérdida convencionales están limitadas típicamente a aplicaciones de ventilador de baja temperatura, de manera que pueden formarse de un material elastomérico para evitar daños a las puntas de álate durante los roces entre ellas. Sin embargo, los motores de turbina de gas avanzados que se están desarrollando funcionan a una temperatura relativamente más alta en los ventiladores y en los compresores, lo cual evita el uso de materiales elastoméricos para las ranuras de pérdida. Por el contrario, las ranuras de pérdida deben ser formadas de un metal de alta resistencia que producirá la abrasión significativa de las puntas de álate durante el roce con la punta, limitando gravemente el uso práctico de las mismas.

Como consecuencia, se desea proporcionar una etapa de compresor resistente al roce, que incluya ranuras de pérdida en el mismo.

De acuerdo con la presente invención, una envolvente de compresor está configurada para que rodee las puntas de álate en una etapa del compresor. La envolvente incluye ranuras de pérdida con mesetas adyacentes que definen separaciones locales respectivas con las puntas de álate. La etapa de compresor comprende una desviación entre al menos una de las citadas mesetas (38a) y las citadas puntas de álate, que incrementa localmente una separación correspondiente de las citadas separaciones locales, para que sea mayor que la citada separación nominal para reducir el roce de las puntas en la citada desviación cuando las citadas puntas rozan contra la citada envolvente.

La invención, de acuerdo con las realizaciones preferentes y ejemplares, junto con objetivos y ventajas adicionales de la misma, está descrita más particularmente en la descripción detallada que sigue, tomada en conjunto con los dibujos que se acompañan, en los que:

La figura 1 es una vista en alzado lateral de una porción de etapa de compresor de un motor de turbina de gas, que tiene una fila de álabes montados en disco adyacentes a una envolvente de estator configurada de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención.

La figura 2 es una vista isométrica de una punta de un álate ejemplar de los álabes ilustrados en la figura 1 y tomada por la línea 2 - 2.

La figura 3 es una vista en alzado lateral, agrandada, de una de las puntas de álate y de la envolvente de estator como se ilustra en la figura 1, de acuerdo con otra realización de la presente invención.

La figura 4 es una vista en alzado lateral, agrandada, de una de las puntas de álate y de la envolvente de estator adyacente como se ilustra en la figura 1, de acuerdo con otra realización de la presente invención.

La figura 5 es una vista en alzado lateral, agrandada, de una de las puntas de álate y de la envolvente de estator adyacente como se ilustra en la figura 1, de acuerdo con otra realización de la presente invención.

La figura 6 es una vista isométrica de la punta de álate ilustrada en la figura 5 y tomada por la línea 6 - 6.

En la figura 1 se ilustra una etapa 10 de compresor ejemplar de un motor turboventilador de turbina de gas, de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención. La etapa de compresor es axi-simétrico con respecto a un eje 12 de línea central axial

e incluye un disco 14 de rotor anular que es energizado por medio de un rotor de turbina (no mostrado).

Una pluralidad de superficies de sustentación o álabes 16 están separados circunferencialmente entre sí alrededor del perímetro del disco 14 y se extienden radialmente hacia fuera desde el mismo en una construcción de blisk unitario, de una pieza. En una realización alternativa, el álate 16 puede tener colas de milano convencionales (no mostradas) montadas de forma retirable en ranuras de cola de milano correspondientes formadas en el perímetro del disco, de una manera convencional.

Cada álate 16 incluye una pared lateral o lado de presión 18 generalmente cóncavo, véase también la figura 2, y una pared lateral o lado de aspiración 20 generalmente convexo, circunferencialmente opuesto. Los dos lados se extienden radialmente desde una raíz 22 a una punta radialmente exterior 24, y axialmente entre un borde director 26 y un borde de seguimiento 28. Típicamente, el álate 16 es sólido para aplicaciones de compresor o de ventilador, y tiene una punta lisa y generalmente plana.

El rotor definido por los álabes y el disco coopera con una fila de paletas 20 de estator situadas aguas abajo que pueden ser fijas o pivotantes para controlar su rendimiento. Durante el funcionamiento, el aire ambiental 32 fluye axialmente aguas abajo entre los álabes 16 para su presurización o compresión, y fluye a su vez a través de las paletas 30 de estator a través de etapas adicionales de compresor o de ventilador, como se deseé, para aumentar la presión del aire adicionalmente.

La etapa de compresor ilustrado en la figura 1 también incluye un suavizador curvado circunferencialmente 34 que puede estar formado en dos mitades semicirculares curvadas, unidas entre sí por pernos para formar un anillo completo. La envolvente 34 rodea las puntas de álate y está separada radialmente hacia fuera desde las mismas para definir una holgura o separación A nominal o primaria entre ellas. Las paletas 30 de estator están fijadas apropiadamente o montadas pivotantemente en la envolvente de estator.

La envolvente 34 de compresor incluye una pluralidad de ranuras de pérdida 36 que se extienden circunferencialmente, dispuestas en la superficie radialmente interior de la envolvente y definidas por nervios correspondientes entre ellas. Las ranuras 36 se extienden por toda la circunferencia de la envolvente 34, y están separadas axialmente entre sí por las mesetas 38 adyacentes o intermedias para definir las separaciones locales respectivas con la puntas 24 de álate.

En una configuración convencional, las mesetas 38 son planas, con esquinas afiladas y separadas de la punta de álate para realizar la misma separación nominal A en cada meseta en la superficie interior de envolvente que limita las ranuras de pérdida. De esta manera, la holgura de álate puede ser controlada y se puede maximizar el rendimiento aerodinámico de las ranuras de pérdida. Sin embargo, las ranuras de pérdida convencionales están formadas de un material elastomérico que evita daños a las puntas de álate durante el roce de la punta.

De acuerdo con una característica de la presente invención, la envolvente 34 en la que se forman las ranuras de pérdida 36 no es elastomérica, sino que, por el contrario, es de un metal apropiado para los requisitos incrementados de temperatura del compresor de alto rendimiento del cual forma parte. Puesto que

los nervios que definen las ranuras de pérdida y sus mesetas 38 son ahora de metal, se requiere un diseño mejorado de ranuras de pérdida para limitar los daños de roces transitorios de las puntas durante el funcionamiento.

Como consecuencia, de acuerdo con otra característica de la presente invención, al menos una de las mesetas, designada como 38a, como se muestra en la figura 1, es desviada radialmente en relación con la punta de álate para aumentar localmente una de las separaciones correspondiente de las separaciones locales o de meseta para que sea mayor que la separación nominal A. Al desviar selectivamente las mesetas individuales, se confina el roce de la punta de álate únicamente a la superficie interior de la envolvente y a las mesetas no desviadas para reducir o evitar el roce de la punta solamente en la meseta desviada 38a durante el funcionamiento transitorio del compresor o del ventilador.

No es deseable desviar todas las mesetas de ranuras de pérdida debido a que esto afectaría adversamente el rendimiento que se pretende de las mismas. La desviación selectiva de las mesetas permite un rendimiento máximo de las ranuras de pérdida, a la vez que también reduce la cantidad de roce de la punta para un beneficio combinado de lo mismo.

Más específicamente, cada uno de los álabes rotativos ilustrados generalmente en la figura 1, y más específicamente en la figura 2, incluye una frecuencia vibratoria natural fundamental y una forma de modo correspondiente, y armónicos de orden superior de las mismas. Cada forma de modo incluye líneas nodales de desplazamiento cero, con un desplazamiento creciente entre ellas, con una tensión de vibración correspondiente. Por ejemplo, el modo vibratorio fundamental de un álate rotativo es un simple plegado de flexión del álate desde su raíz 22. Los modos armónicos de orden superior de vibración producen formas de modo correspondientemente más complejas y frecuencias vibratorias correspondientemente más altas.

Se ha descubierto que la desviación selectiva de mesetas de ranuras de pérdida que corresponden a una respuesta vibratoria de orden superior de los álabes puede ser utilizada para limitar la tensión durante el roce de la punta, y aumentar correspondientemente la vida útil del álate. En particular, la figura 2 ilustra una porción de una forma de modo vibratorio de orden superior que tiene una máxima tensión local vibratoria en una porción de la punta de álate 24 que define un objetivo correspondiente 40. Se puede utilizar el análisis vibratorio convencional para identificar la ubicación específica del objetivo 40 de tensión localmente alta en la punta de álate, lo cual se produce típicamente en los modos tercero, cuarto o más altos de vibración, denominados típicamente como modos de raya.

Como se muestra en la figura 1, se selecciona la meseta desviada 38a para que se encuentre alineada axialmente con el objetivo correspondiente 40 en la punta de álate. De esta manera, el roce de la punta de álate contra la envolvente y contra las mesetas no desviadas 38 se limita a regiones de tensión relativamente baja en la punta de álate, mientras se protege la región de tensión alta en el objetivo 40 por medio de la meseta desviada 38a en la que se produce poco o ningún roce.

En la realización ejemplar que se ilustra en la figura 1, el objetivo 40 está dispuesto adyacente al borde

director 26 del álabe en la punta de álabe, y la meseta desviada 38a está dispuesta radialmente encima en alineación axial con del mismo.

La figura 3 ilustra una realización alternativa de la envolvente 34 que incluye también la meseta desviada 38a adyacente el borde director 26 del álabe radialmente encima del objetivo correspondiente 40. Sin embargo, la figura 3 ilustra una segunda meseta desviada 38b que incrementa localmente la separación encima de la punta 24 de álabe para quedar alineada axialmente radialmente encima de un segundo objetivo 40b de tensión vibratoria local máxima, adyacente al borde de seguimiento 28 del álabe.

La figura 3 ilustra un modo vibratorio común en la que dos objetivos locales 40, 40b de tensión vibratoria alta están situados a lo largo de la punta de álabe entre los bordes directores y de seguimiento. El primer objetivo 40 se encuentra generalmente a, aproximadamente, el 25% de la longitud de cuerda, estando el segundo objetivo 40b a, aproximadamente, el 75% de la longitud de cuerda. Por lo tanto, las dos mesetas desviadas 38a,b están dispuestas en los extremos axiales opuestos de las ranuras de pérdida 36 que se corresponden a los dos objetivos 40, 40b en extremos axiales opuestos de las puntas de álabe.

De esta manera, solamente aquellas mesetas específicas que corresponden a los objetivos vibratorios están desviadas radialmente de los mismos para evitar o reducir sustancialmente el contacto de roce entre ellos durante el funcionamiento transitorio. De otra manera, las ranuras de pérdida funcionan convencionalmente y pueden ser configuradas para el rendimiento máximo de las mismas, a pesar de las porciones localmente desviadas de las mismas.

Más específicamente, las puntas 24 de álabe ilustradas en las figuras 1 - 3 preferiblemente son planas y rectas en sección axial y en proyección axial, estando la meseta desviada 38a,b preferiblemente rebajada en la envolvente por medio de un rebaje apropiado B. El rebaje B es relativo a la superficie interior de la envolvente y aumenta correspondientemente la separación nominal A la cantidad B de rebaje en las mesetas desviadas individuales 38a,b.

Como se muestra en la figura 3, las mesetas desviadas 38a,b son preferiblemente planas o rectas en sección axial y tienen esquinas bien definidas aguas arriba y aguas abajo. De esta manera, todas las mesetas 38 pueden ser planas con esquinas bien definidas para maximizar el rendimiento aerodinámico de las ranuras de pérdida durante el funcionamiento. Y en el caso de roce transitorio de álabe con la envolvente 34, únicamente aquellas mesetas no desviadas 38 rozarán con las puntas de álabe en regiones relativamente bajas de tensión, estando las mesetas desviadas 38a, b separadas de la regiones seleccionadas de alta tensión de las puntas de álabe en los objetivos.

La figura 4 ilustra una realización alternativa de

la presente invención en la que las mesetas desviadas, designadas como 38c, son de sección axial curvada y tienen preferiblemente un radio constante tal como, por ejemplo, semicirculares en los extremos radiales interiores de los nervios divisorios de las ranuras de pérdida. De esta manera, las mesetas desviadas pueden ser coextensivas en sus vértices con las mesetas adyacentes, y desviadas en parte al curvarse radialmente hacia fuera.

Como consecuencia, se mantiene la separación nominal u holgura A en cada una de las mesetas, aunque las mesetas desviadas curvadas reducirán sustancialmente la tensión con las puntas de álabe durante un roce transitorio. Las mesetas no desviadas 38 mantienen sus esquinas cuadradas bien definidas para mejorar el rendimiento aerodinámico, teniendo las mesetas desviadas esquinas redondeadas para reducir tensiones, en compromiso con la máxima eficacia aerodinámica de las mismas.

En las figuras 5 y 6 se ilustra incluso otra realización de la presente invención en la que las mesetas desviadas, designadas por 38d, son coextensivas con la superficie interior de la envolvente 34 y las mesetas no desviadas adyacentes 38. Correspondientemente, las puntas 34 de álabe, de otro modo planas, incluyen objetivos respectivos, designados por 40c, que están rebajados radialmente hacia dentro en las puntas de álabe en las ubicaciones deseadas de alta tensión vibratoria. Preferiblemente, los objetivos 40c son curvados axialmente y se extienden por toda la anchura de cada álabe entre los lados de presión y de aspiración.

Los objetivos rebajados 40c cooperan con las mesetas desviadas correspondientes 38d para que, durante el roce del álabe con la envolvente 34, las mesetas desviadas 38d no entren en contacto ni rocen con los objetivos rebajados 40c. Se limita la profundidad de los objetivos rebajados para evitar roces con las mesetas correspondientes mientras se minimiza la holgura local entre ellos para minimizar fugas de aire comprimido por las puntas de álabe.

En las distintas realizaciones mostradas anteriormente, las holguras entre las puntas de álabe y la envolvente del estator pueden ser aumentadas localmente para evitar roces en ubicaciones críticas en la punta de álabe. Puesto que las holguras aumentadas son locales, su efecto sobre el rendimiento aerodinámico será mínimo. La holgura nominal A de la punta de álabe puede permanecer relativamente pequeña, y la configuración de las ranuras de pérdida 36 permanece básicamente sin cambios para maximizar el rendimiento de las mismas, a la vez que se introduce un aumento relativamente pequeño de holgura en mesetas seleccionadas. Se elimina o se reduce el roce de la punta de álabe en mesetas desviadas, con reducciones correspondientes de concentración de tensión y tensión durante el roce de punta con los álabes.

## REIVINDICACIONES

1. Una etapa (10) de compresor que comprende:  
un disco rotativo (14);  
una pluralidad de álabes (16) separados circunferencialmente entre sí, que se extienden radialmente hacia fuera desde el citado disco, e incluyendo cada álabe lados de presión y aspiración (18, 20) circunferencialmente opuestos que se extienden radialmente desde la raíz (22) a la punta (24) y axialmente entre los bordes director y de seguimiento (26, 28);  
una envolvente curvada (34) que rodea las citadas puntas (24) de álabe y separada radialmente hacia fuera desde las mismas para definir un separación nominal de punta entre ellas y  
una pluralidad de ranuras de pérdida (36) que se extienden circunferencialmente, dispuestas en una superficie interior de la citada envolvente y orientadas hacia las citadas puntas de álabe, y separadas axialmente entre sí por mesetas adyacentes (38) que definen separaciones locales respectivas con las citadas puntas de álabe; y que se **caracteriza** por:  
una desviación entre al menos una de las citadas mesetas (38a) y las citadas puntas de álabe para aumentar localmente una separación correspondiente de las citadas separaciones locales para que sea mayor que la citada separación nominal para reducir el roce de la punta en la citada meseta cuando las citadas puntas rozan contra la citada envolvente.
2. Una etapa de acuerdo con la reivindicación 1 en la que:  
cada uno de los citados álabes (16) incluye una frecuencia vibratoria natural con un forma de modo correspondiente, teniendo una máxima tensión vibratoria local en una porción de la citada punta de álabe que define un objetivo (40); y  
una meseta desviada (38a) está alineada axialmente con el citado objetivo.
3. Una etapa de acuerdo con la reivindicación 2, en la que el objetivo (40) está dispuesto adyacente el citado borde director de (26) álabe, y la citada meseta desviada (38a) está dispuesta radialmente encima del mismo.
4. Una etapa de acuerdo con la reivindicación 2, en la que el citado objetivo (40) está dispuesto adyacente el citado borde director (26) del álabe, y la citada meseta desviada (38a) está dispuesta radialmente encima del mismo.

centre el citado borde de seguimiento (28) del álabe, y la citada meseta desviada (38b) está dispuesta radialmente encima del mismo.

5. Una etapa de acuerdo con la reivindicación 2, en la que:

el citado objetivo está dispuesto adyacente el citado borde director (26) del álabe, y la citada meseta desviada (38a) está dispuesta radialmente encima del mismo; y

10 un segundo objetivo (40b) está dispuesto adyacente el citado borde de seguimiento (28) del álabe, y una segunda meseta desviada (38b) está dispuesta radialmente encima del mismo.

15 6. Una etapa de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en la que las citadas puntas de álabe son planas y la citada meseta desviada (38a, b) está rebajada en la citada envolvente (34).

20 7. Una etapa de acuerdo con la reivindicación 6, en la que la citada meseta desviada es plana (38a, b) o curvada (38c) en sección axial.

25 8. Una etapa de acuerdo con la reivindicación 2, en la que la citada meseta desviada (38d) es coextensiva con la citada envolvente (34), y el citado objetivo (40c) está rebajado en la citada punta (24) de álabe.

9. Una etapa de acuerdo con la reivindicación 8, en la que el citado objetivo (40c) es axialmente curvado.

10. Una envolvente (34) de compresor para rodear una fila de álabes (16), comprendiendo:

30 una pluralidad de ranuras de pérdida (36) que se extienden circunferencialmente dispuestas en una superficie interior de la citada envolvente para puntas orientadas (24) de los citados álabes, y separadas axialmente entre sí por mesetas adyacentes (38) para definir separaciones locales respectivas con las citadas puntas de álabe, que se **caracteriza** porque al menos una de las citadas mesetas (38a) está rebajada para desviar una meseta en la citada envolvente.

35 11. Una envolvente de acuerdo con la reivindicación 10, en la que la citada meseta desviada es plana (38a, b) ó curvada (38c) en sección axial.

40 12. Una etapa de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende adicionalmente dos de las citadas mesetas desviadas (38a, b) dispuestas en extremos axiales opuestos de las citadas ranuras de pérdida (36).

50

55

60

65

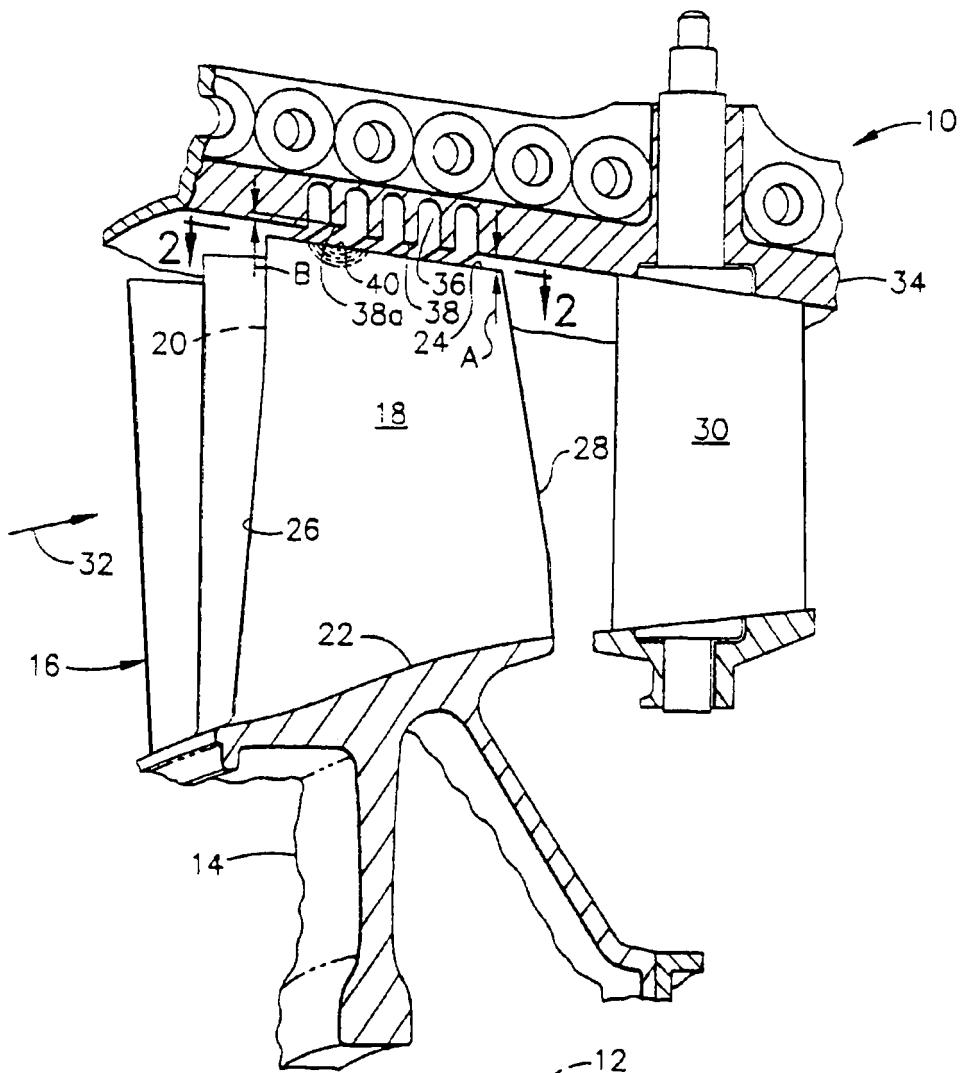


FIG. 1

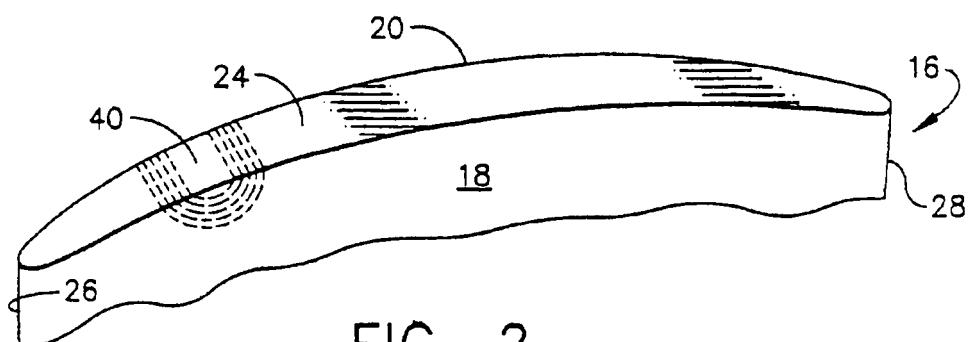


FIG. 2

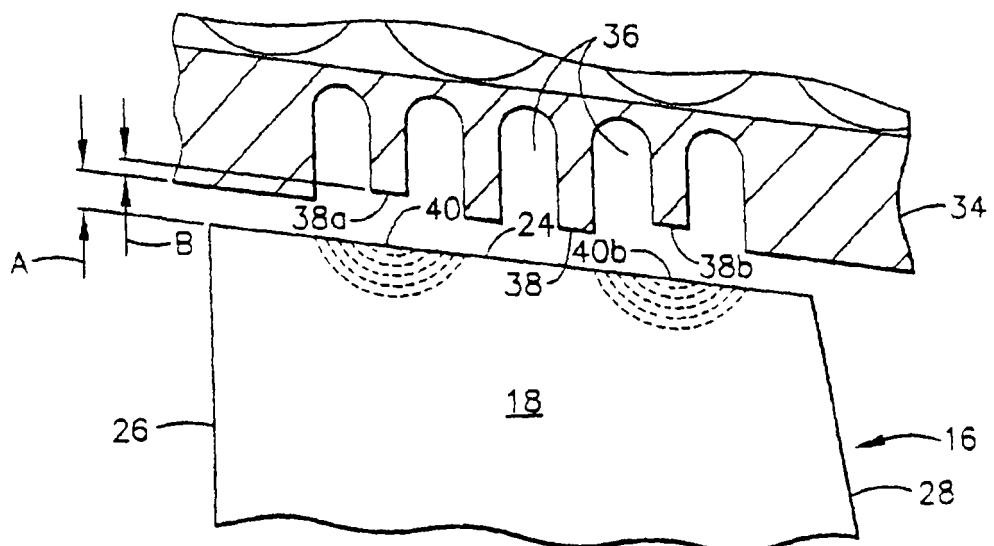


FIG. 3

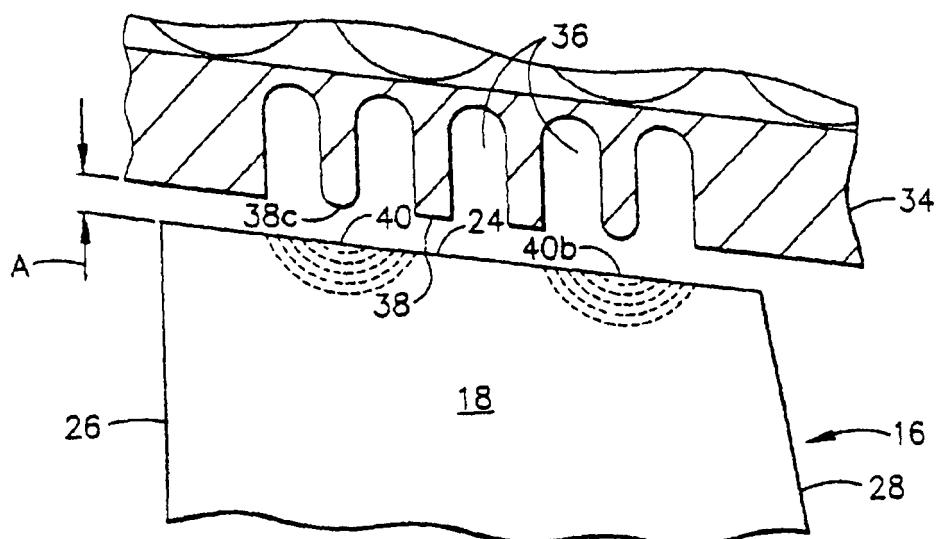


FIG. 4

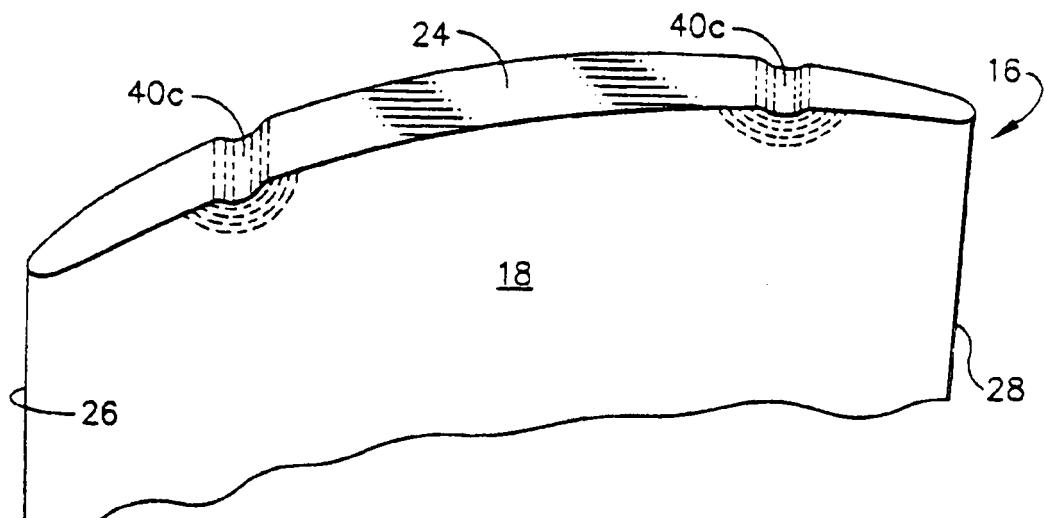
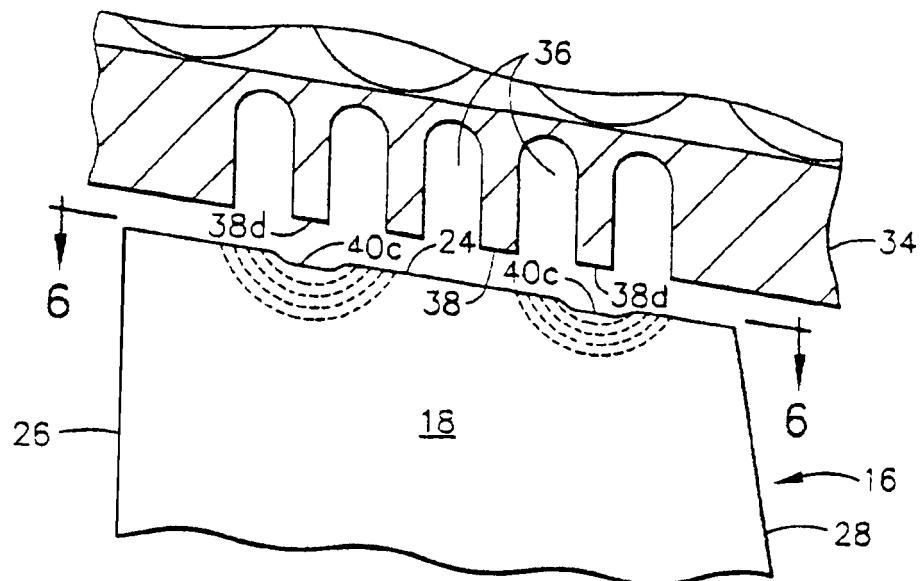


FIG. 6